

Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols dans la plaine du Bas-Cheliff, Algérie

Bradaï A.*, Douaoui A.*, Marlet S.**

* Université Hassiba Benbouali de Chlef, Hay Salem, 19 route nationale, 02000 Chlef, Algérie

**Umr G-Eau - Cirad, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France

hamid_bradaï@yahoo.fr

Résumé — Le développement de l'irrigation s'accompagne, dans la majorité des situations, par l'apparition de processus de salinisation, de sodisation ou d'alcalinisation des sols à des degrés divers. Ces situations sont en relation étroite avec les caractéristiques naturelles du milieu (sol et climat) et la modalité de gestion des eaux destinées à l'irrigation dont la qualité est déterminante. Dans plaine du Bas-cheliff (nord-ouest de l'Algérie), caractérisée par un climat semi-aride et une forte évapotranspiration, le recours à l'irrigation pour la majorité des cultures est indispensable. Depuis une vingtaine d'années, la pénurie d'eau allouée à l'agriculture a contraint les agriculteurs à privilégier l'utilisation des eaux souterraines de qualité médiocre. Ce recours s'est accentué ces cinq dernières années qui ont vu le transfert des eaux des barrages de Gargar et de Merdjet Sidi Abed vers la ville d'Oran. L'analyse des eaux de 56 forages utilisés pour l'irrigation a montré une importante diversité des compositions entre quatre principaux faciès : équilibré, sulfaté, chloruré et carbonaté. La salinité généralement élevée des eaux entraîne un risque élevé (classe C3) ou très élevé (classe C4) de salinisation des sols sous l'influence de l'irrigation. Une carte de répartition spatiale de la probabilité de dépassement de la conductivité électrique au seuil de 2,25 dS/m interpolée par la méthode du krigeage d'indicatrices a montré que 78 % de la surface présente une probabilité significative de dépasser ce seuil. La valeur moyenne du SAR est inférieure à 10 meq/l et indique un risque modéré de sodisation. Cette observation est en contradiction avec les valeurs élevées du SAR mesurées dans la solution du sol. L'évolution des sols semble plutôt devoir être expliquée par la valeur positive de l'alcalinité résiduelle et les risques élevés de sodisation et d'alcalinisation des sols qu'elle entraîne pour 1/3 des échantillons analysés.

Introduction

Le développement des systèmes d'irrigation a permis la mise en valeur des terres arables en zones arides et semi-arides. C'est ainsi que depuis une cinquantaine d'années, de grands périmètres ont été construits en Algérie pour combler le déficit en eaux des cultures. Cependant, ces pratiques d'irrigation à grande échelle ont modifié le fonctionnement des sols et accru le risque de salinisation. En Algérie, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité (Douaoui et Hartani, 2007).

La plaine du Bas-Cheliff (nord-ouest de l'Algérie) est célèbre par son climat semi-aride très sévère, une forte évapotranspiration et une salinisation des sols qui ne cesse d'augmenter (Douaoui, 2005). La sécheresse qui dure depuis deux décennies en plus de l'affectation des eaux du barrage de Gargar vers la ville d'Oran depuis 2003 et dernièrement celles de Merdjet Sidi Abed ont contraint les agriculteurs à utiliser les eaux souterraines comme sources d'irrigation. Ces dernières sont de qualité médiocre et leur utilisation ne sera pas sans conséquences sur la qualité des sols.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité de ces eaux souterraines utilisées dans l'irrigation et les risques éventuels de la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif.

Matériels et méthodes

La zone d'étude

La plaine du Bas-Chélif s'étend sur 60 000 ha et comprend plusieurs périmètres irrigués de grande hydraulique. Ils ont été créés durant la période coloniale à partir de 1937. Ils s'étendaient en 1951 sur plus de 28 000 ha (surface "classée") dont près de 20 000 ha irrigables et 15 000 ha équipés. Actuellement, la surface irrigable est estimée aux environs de 16 000 ha dont moins de 7 000 ha équipés. En 2004, la surface irriguée était de 4 500 ha environ. Les principaux périmètres irrigués de la plaine sont : Ouarizane, H'madna, oued Rhiau, Djédiouia et Garouaoua.

La salinisation dans la plaine est d'abord primaire, comme pour la plupart des sols d'Afrique du Nord, c'est-à-dire que les sols sont des alluvions dont le matériau originel était lui-même plus ou moins salé. Les formations salifères (Trias, Miocène, Helvétien, Sahélien) qui affleurent dans l'Ouarsenis en sont les principaux pourvoyeurs (Boulaine, 1957 ; Gaucher et Burdin, 1974).

Echantillonnage et analyses

Durant les mois de juin et juillet 2006, 56 échantillons d'eaux ont été prélevés à partir des forages utilisés pour l'irrigation (figure 1) et analysés. Les paramètres analysés sont :

- cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ;
- nions: Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- ;
- la conductivité électrique (CE) et le pH.

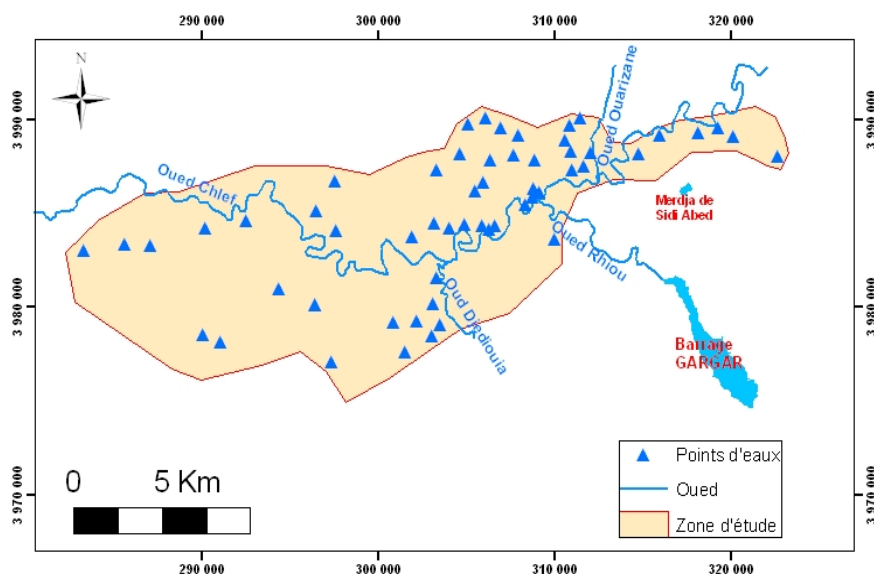


Figure 1. Plan d'échantillonnage des eaux souterraines.

Evaluation de la qualité des eaux

Le faciès chimique des eaux a été déterminé selon le diagramme de Piper. Le diagramme de Riverside (1954) a été utilisé pour évaluer le risque de salinisation et de sodisation des sols.

Pour prédire l'évolution de la composition chimique d'une solution, le concept d'alcalinité résiduelle est utilisé. Le concept d'alcalinité résiduelle a été généralisé à la précipitation successive de plusieurs minéraux (Van Beek *et al.*, 1973 in Barbiero et Valles, 1992). L'alcalinité résiduelle est calculée en soustrayant à l'alcalinité les équivalents de cations et en additionnant les équivalents d'anions qui sont

impliqués dans les précipitations. Elle est le plus souvent considérée par rapport à la précipitation de calcite et de sépiolite, et correspond alors à la définition du concept de Résiduel sodium carbonates (RSC) utilisé suite aux travaux de Eaton (1950) et de Richards (1954) (Marlet et Job, 2006).

$$\text{RSC} = \text{Alcalinité carbonate} - \text{Ca} - \text{Mg} \dots\dots\dots \text{meq/l}$$

Si le RSC est positif, c'est la voie alcaline relative à la précipitation de calcite/sépiolite, dans le cas contraire ($\text{RSC} < 0$), c'est la voie saline neutre. Dans ce cas, deux cas peuvent se présenter en fonction du signe de l'alcalinité résiduelle appliquée à la précipitation de calcite de sépiolite et de gypse (Marlet et Job, 2006) :

- l'alcalinité résiduelle devient positive suite à l'addition des sulfates relatifs à la précipitation du gypse, c'est la voie saline neutre à dominances sulfatées ;
- l'alcalinité résiduelle devient négative même par addition des sulfates, on parle alors de la voie saline neutre à dominance chlorurée.

Résultats et discussions

Evaluation de la qualité des eaux

La représentation de nos 56 échantillons sur le diagramme de Piper des anions (figure 2) a montré la présence de quatre faciès chimiques à savoir :

- des eaux équilibrées (sans aucun anions dominant) avec 35% ;
- des eaux à dominance sulfatée avec 25 % ;
- des eaux à dominance chlorurée avec 20 % ;
- des eaux à dominance carbonatée ou bicarbonatée avec 19 %.

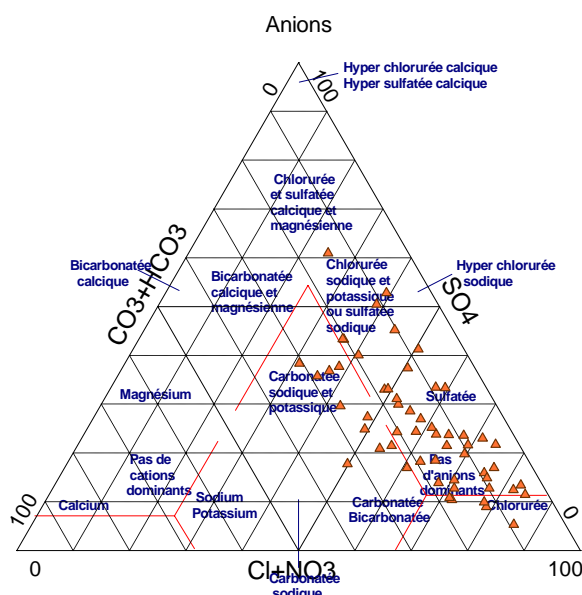


Figure 2. Diagramme de Piper des anions des eaux souterraines.

En s'intéressant uniquement aux paramètres utilisés habituellement pour l'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation : la salinité (exprimé par la CE), le pH, SAR et la toxicité des chlorures, les eaux souterraines de la plaine du Bas-Chélib et selon la valeur moyenne de la CE égale à 3,55 dS/m, sont de très forte salinité normalement inutilisable pour l'irrigation (Durand, 1982). Toutefois, la valeur moyenne du SAR égale à 8,69 meq/l indique un faible danger de sodisation. Le tableau I, montre la qualité des eaux souterraines de la plaine du Bas-Chélib, faite sur une moyenne de cinquante six (56) points d'eau.

Tableau I. Paramètre statistiques de quelques variables des eaux Souterraines du Bas-Chéliff.

	CE	pH	R.S	SAR	Cl
Unité	dS/m	-	mg/l	meq/l	meq/l
Min.	1,21	7,06	600	0,56	6,43
Max	7,03	8,69	6 100	37,80	56,44
Moy.	3,55	8,04	2 640	8,80	21,18

Il apparaît également que les eaux souterraines d'irrigation peuvent atteindre des valeurs de CE très élevées, jusqu'à 7,03 dS/m. Certains points d'eau sont également de meilleure qualité avec une CE inférieure à 1,21 dS/m. Le pH peut parfois être élevé et poser problème avec une valeur maximale de 8,69 qui dépasse la valeur maximale admissible préconisée par la FAO (Ayes et Westcot, 1988 ; FAO, 1996).

La toxicité par les chlorures est présente aussi, du fait qu'on trouve des points avec des teneurs qui dépassent largement 10 meq/l représentant le seuil maximum admissible pour les plantes (Ayers et Westcot, 1988).

La salinité dont le risque semble être le plus important a fait l'objet d'une cartographie pour représenter spatialement la probabilité de dépassement d'un seuil de 2,25 dS/m en employant le krigeage d'indicatrices en tant que méthode d'interpolation non paramétrique (Walter, 1993 ; Aubry, 2000 ; Douaoui, 2005). Le seuil de 2,25 dS/m retenu représente la classe des eaux à risque très élevé selon plusieurs auteurs (Durand, 1982 ; Marlet et Job, 2006).

Le variogramme de la CE des eaux souterraines est ajusté à un modèle sphérique avec un effet de pépité qui dépasse légèrement la moitié de la variance totale et une portée de 5 300 m.

La carte a été établie en fonction de quatre niveaux de probabilité (figure 3) : $P < 25\%$ (risque faible), $25 < P < 50\%$ (risque moyen), $50 < P < 75\%$ (risque élevé) et $75 < P < 100\%$ (risque très élevé).

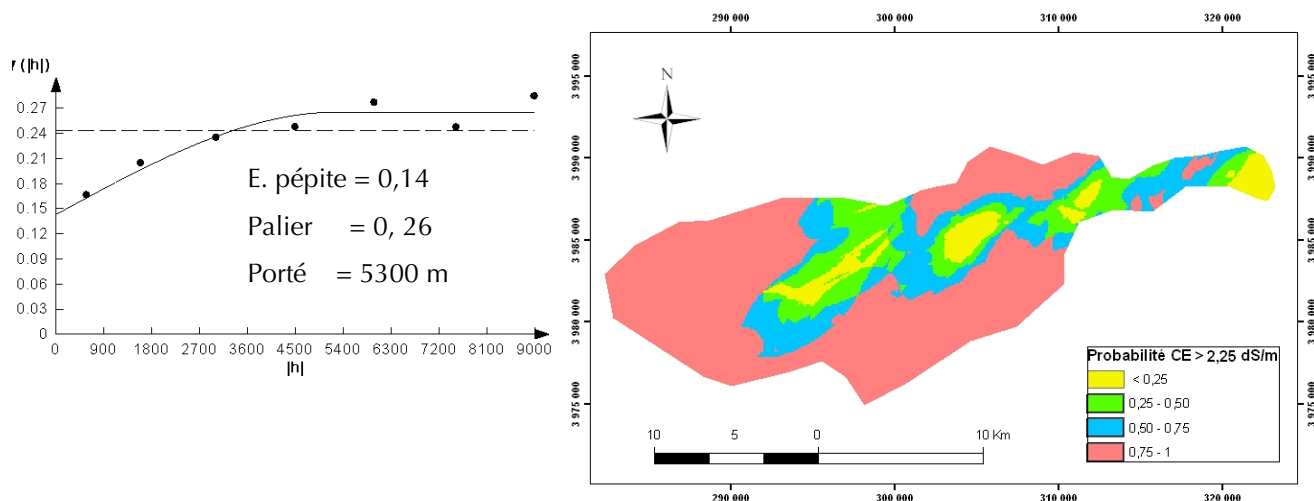


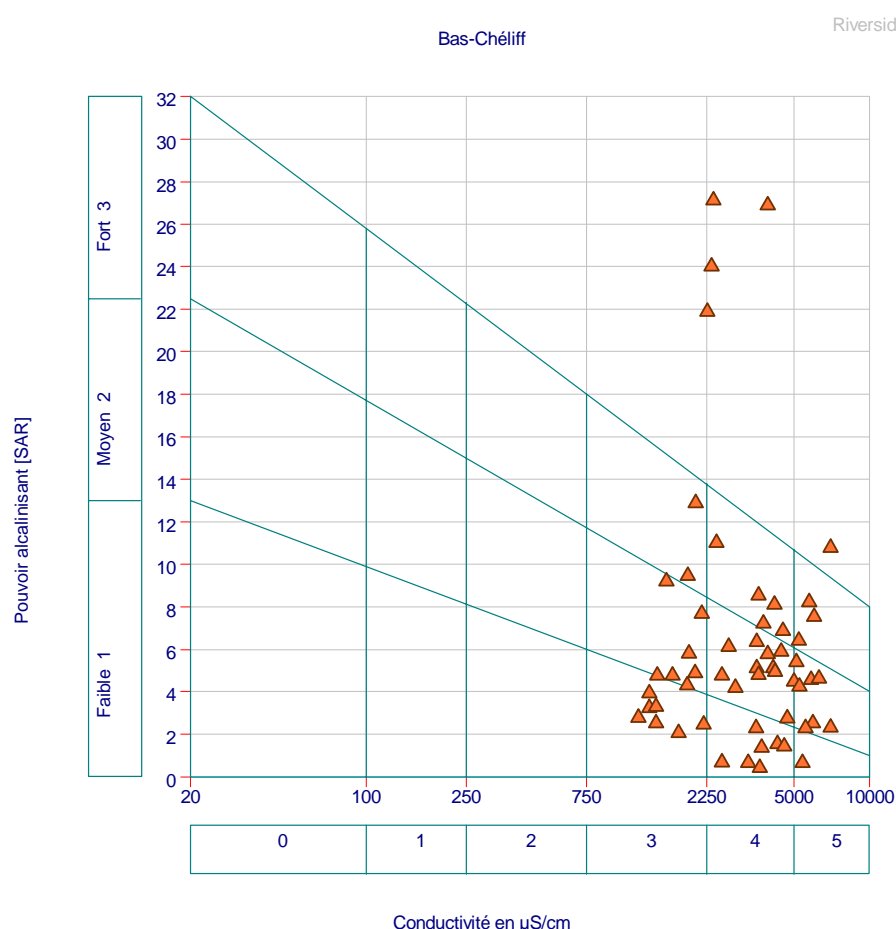
Figure 3. Carte de probabilité de la CE des eaux souterraines de dépasser 2,25 dS/m et son variogramme.

Si on admet que le dépassement d'une probabilité de 50 % est un seuil significatif, il apparaît que 78 % des superficies sont caractérisées par une CE significativement supérieure à 2,25 dS/m. La probabilité de dépasser cette valeur à plus de 75 % (risque très élevé) couvre une superficie de près de 60 %. On peut voir également que les probabilités faibles se situent plutôt en amont de la plaine et le long de l'axe d'écoulement de l'oued Cheliff et inversement, les probabilités élevées se situent vers l'aval de la plaine et les piémonts.

Tableau II. Pourcentage de superficie pour chaque fourchette de probabilité

Probabilité	Superficie (en %)
$0 < P < 25 \%$	7,34
$25 < P < 50 \%$	15,03
$50 < P < 75 \%$	18,49
$75 < P < 100 \%$	59,14

Il apparaît donc que les eaux souterraines de la nappe de la plaine du Bas-Chélif sont d'une salinité souvent inutilisable pour l'irrigation. Il est à noter l'inexistence des deux premières classes de la CE à savoir : C1 ($0 < CE < 0,25$) et C2 ($0,25 < CE < 0,75$). La classification classique de Riverside (1954) montre que la meilleure classe de ces eaux est C3S1 de qualité moyenne à médiocre avec sept échantillons seulement (12,5 %). La classe C4S2, est dominante, avec treize échantillons (23,21 %). Il existe des classes avec un danger de sodicité et de salinité : C2S3 (3,57 %) et C4S3 (7,21 %). On signale aussi des classes inutilisables en irrigation (C4S4, C5S4) mais avec un faible taux.

**Figure 4.** Le diagramme de Riverside des eaux souterraines.

Alcalinité résiduelle des eaux

L'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation en se basant uniquement sur le SAR minimise très souvent le risque de sodisation et d'alcalinisation de ces eaux lorsque le faciès chimique n'est pas chloruré. C'est pourquoi on a tenu compte de l'alcalinité résiduelle comme une autre approche dans l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation. Il se trouve que ces trois cas ont été retrouvés dans les eaux souterraines de la plaine du Bas-Chélif (tableau III).

Tableau III. Pourcentage de chaque type d'eau.

Type d'eau	désignation	SAR (meq/l)	Pourcentage (%)
RSC1 > 0	RSC = Alcalinité carbonatée – Ca – Mg > 0	14,19	32,14
RSC 2 > 0	RSC < 0 : RSC2= Alcalinité carbonatée – Ca - Mg+ SO ₄ > 0	8,17	33,93
RSC 2 < 0	RSC < 0 RSC2= Alcalinité carbonatée – Ca - Mg+ SO ₄ < 0	4,66	33,93

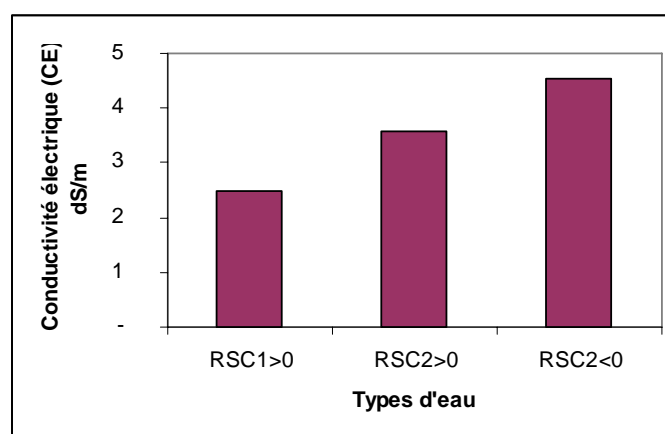
L'utilisation de chacun des trois types d'eaux cités dans l'irrigation présente un risque de dégradation avec des degrés variables (Marlet et Job, 2006).

Les eaux de type 01 (RSC1>0) présentent un risque majeur d'alcalinisation et de dégradation des propriétés physiques des sols par sodisation, bien expliqué par le SAR avec une valeur supérieure à 10 meq/l.

Les eaux de type 02 (RSC 2>0) ont principalement un risque de dégradation des propriétés physiques des sols suite à une sodisation rapide que le SAR ne caractérise qu'imparfaitement (SAR < 10 meq/l).

Pour les eaux de type 03 (RSC 2<0), le risque de dégradation des sols est faible dans la mesure où la sodisation est progressive et la salinité alors suffisamment élevée pour assurer la stabilité structurale des sols (Sumner, 1993 ; Douaoui *et al.*, 2004 ; Marlet et job, 2006).

Il est à noter également que la salinité des eaux est inversement proportionnelle à l'alcalinité résiduelle (figure 5). Les eaux du premier type (RSC 1>0) ont un risque de salinisation le plus faible par rapport aux deux autres. La CE moyenne de ce type est de 2,48 dS/m. Pour les deux autres types, RSC 2>0 et RSC2<0 avec une CE de 3,57 dS/m et 4,54 dS/m respectivement, le risque de salinisation des sols est présent en particulier pour le type (RSC2<0).

**Figure 5.** Evolution de la conductivité électrique des eaux de chaque type d'eau.

Conclusion

Au terme de ce travail, nous avons essayé d'évaluer la qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation dans la plaine du Bas-Chéliff. Le recours à cette ressource est venu suite aux problèmes que vit la région comme la sécheresse et la disponibilité des eaux superficielles.

L'évaluation de la qualité de ces eaux par des méthodes classiques a révélé que ces eaux sont d'une salinité très élevée et normalement inutilisable pour l'irrigation. Cette hypothèse c'est confirmée par l'établissement d'une carte de probabilité de seuil de 2,25 dS/m souvent prise comme référence pour déterminer le danger de salinité des eaux d'irrigation. La carte obtenue a montré que près de 60 % de la surface des nappes présentent une probabilité supérieure à 75 % de dépasser cette valeur critique. Cependant, ces eaux sont utilisées de façon habituelle en irrigation sans que les rendements soient réellement affectés.

Selon le SAR qui reste en moyenne inférieur à 10 meq/l, les eaux souterraines présentent un faible danger d'alcalinisation. Néanmoins, l'alcalinité résiduelle est positive pour le 1/3 des échantillons analysés, ce qui montre l'existence d'un risque d'alcalinisation qui n'a pas été montré par le SAR.

L'approche alcalinité résiduelle souligne trois types d'eaux dont l'impact sur la dégradation des sols est distinctif. Le premier type ($RSC1 > 0$) présente un grand danger de sodisation ; les eaux de ce groupe présentent une faible salinité en les comparant aux deux autres types, ce qui augmente le risque de dégradation physique des sols. Le deuxième groupe avec une alcalinité toujours positive suite à la précipitation du gypse marque également un risque de sodisation des sols. Pour le dernier groupe, le risque principal est la salinisation des sols qui, d'un autre côté, diminue le risque de salinisation même en présence d'un SAR élevé.

En termes de perspective, un suivi sur terrain en parallèle avec une étude expérimentale au laboratoire pour suivre et prédire l'évolution géochimique et physique des sols irrigués par différents types d'eau se révèle être nécessaire.

Références bibliographiques

AUBRY P., 2000. Traitement des variables régionalisées en écologie, Apports de géomantique et de la géostatistique, Thèse doctorat, Université Claude BERNARD – Lyon 1. 509 p.

AYERS R.S., WESTCOT D.W., 1988. La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage. 29 Rév. 1, 165 p.

BARBIERO L., VALLES V., 1992 Aspects géochimiques de l'alcalinisation des sols dans la vallée du Dal101 Bosso (République du Niger). Cah. Orstom, sér. Pédol., vol. XXVII, 2 : 143-152.

BOULAIN J., 1957. Etude des sols des plaines du Chéouli. Thèse d'état de l'Université d'Alger, 582 p.

DOUAOUI A., GASCUEL-ODOUX C., WALTER C. 2004. Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chéouli (Algérie). Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. EGS, vol. 11, n°4, 379-392.

DOUAOUI A., 2005. Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chéouli. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct. d'état, INA – Alger, p. 115-142.

DOUAOUI A., HARTANI. T., 2007. Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chéouli. Actes de l'atelier régional SIRMA. Tunis.

DURAND J.H., 1982. Les sols irrigables. Ed. PUF – Paris. 340 p.

FAO, 1996. La qualité d'eau dans l'irrigation, Bulletin n°29 de l'Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture.

GAUCHER G., BURDIN S., 1974. Géologie, Géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Techniques vivantes, Presses Universitaires de France, Imp. Boudin, Paris, 234 p.

MARLET S., JOB J.O., 2006. Processus et gestion de la salinité des sols. In Tiercelin, J.R. Traité d'irrigation, seconde édition. Tec & Doc Lavoisier. p. 797-822.

SUMNER M.E., 1993. Sodic soils – new perspectives. Aust. J. of Soil Res., 31, 683-750.

WALTER C., 1993. L'estimation des propriétés du sol par krigeage d'indicatrices confrontée à celle dérivée d'une carte pédologique. Science du sol, vol. 31, (4) : 215-231.

WALTER C., 2002. Cours de géostatistique. ENSA – INRA, Rennes. 20 p.